

**SPEZIELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
WAHRNEHMUNGS- UND ERKENNUNGSSCHWELLE
DES MENSCHLICHEN GERUCHSORGANS**

von

Peter G. J. Wendelstein

aus

Küstrin



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546218_0078

Aus der Hals-Nasen-Ohren-Klinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. G. Theissing

**SPEZIELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
WAHRNEHMUNGS- UND ERKENNUNGSSCHWELLE
DES MENSCHLICHEN GERUCHSORGANS**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Peter G. J. Wendelstein
aus
Küstrin

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen - Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. A. Kröncke

Referent: Priv.-Doz. Dr. G. Kittel

Tag der mündlichen Prüfung: 29. 7. 1969

Meinen lieben Eltern gewidmet

Herrn Professor Dr. med. Theissing sei für die Arbeitsmöglichkeit in seiner Klinik, Herrn Privatdozent Dr. med. Kittel für die freundliche Überlassung des Themas und die hilfsbereite Unterstützung in Rat und Tat herzlich gedankt.

Inhaltsübersicht

I.	Einleitung	Seite	2
II.	Das Riechorgan	"	3
III.	Geruchsschwellen	"	5
IV.	Literaturübersicht zur Wahr- nehmungs- und Erkennungsschwelle		7
V.	Beschreibung des verwendeten Olfaktometers	"	9
VI.	Ablauf der Versuche	"	15
VII.	Berechnung der Riechstoff- konzentration	"	18
VIII.	Statistische Auswertung	"	20
IX.	Ergebnisse	"	23
X.	Diskussion	"	42
XI.	Zusammenfassung	"	44
XII.	Literaturverzeichnis	"	46
XIII.	Lebenslauf	"	51

I. Einleitung

Der Geruchssinn scheint auf den ersten Blick für den Menschen biologisch unwesentlich zu sein ; doch ist seine Bedeutung viel tiefer, was erst vielfach unter pathologischen Bedingungen erkannt wird. Erst nach Verlust des Geruchsvermögens beginnt man zu begreifen, welche Lebensattribute fehlen. Wenn Wein etwa nur noch als säuerliche Flüssigkeit wahrgenommen wird, oder Kaffee als warmes, etwas bitter schmeckendes Wasser. Solche Schädigungen des Geruchsorganes gilt es von vorneherein zu vermeiden. Der Mensch unserer technisierten Welt ist solchen Gefahren besonders häufig ausgesetzt. Deutliche Erhöhungen der Geruchsschwelle fanden sich bei Arbeitern der chemischen und metallverarbeitenden Industrie. (34) Geruchsstörungen durch Metallstaub sind ebenfalls schon bekannt. (31) Es sind sogar vereinzelte Fälle publiziert worden, bei denen eine totale Anosmie schon nach einmaligem Einatmen toxischer Gase, etwa von Schwefeldioxyd, folgte. (29)

Recht häufig sind Störungen des Geruchssinnes nach Schädelverletzungen, was im Zeitalter der zunehmenden Motorisierung mit zahlreichen Verkehrsunfällen nicht allzu selten zu beobachten ist. (19,30,42) Wichtig sind aus neurologischer Sicht Geruchsstörungen zur Beurteilung und Diagnostik von Hirntumoren. (9,14,23,44)

Will man all diese pathologischen Zustände des Geruchssinnes beurteilen, muß man sich erst einmal über die physiologischen Zustände, die physiologischen Leistungen des Geruchsorganes, ein Bild machen. Dabei stößt man auf verschiedenste Schwierigkeiten, die dadurch bedingt sind, daß es sich bei dem Geruchssinn um einen "chemischen" Sinn handelt. Eine genaue quantitative Olfaktometrie ist schwierig, sodaß sich genaue Methoden wegen ihrer

Kompliziertheit bis jetzt in der Praxis noch nicht durchsetzen konnten. So wurden die meisten Untersuchungen über den Geruchssinn mit dem Olfaktometer nach ELSBERG (8) durchgeführt, welches sich zwar leicht in der Praxis verwenden läßt, aber nur vergleichende Messungen zuläßt. Immerhin wurde mit relativ groben Methoden schon viel Grundlegendes über die Physiologie des Geruchssinnes festgestellt, zum Beispiel auch, daß es eine Wahrnehmungsschwelle (Minimum perceptibile) und eine Erkennungsschwelle (Minimum identificibile) gibt. (22)

Es soll nun Aufgabe der vorliegenden Arbeit sein, diese beiden Schwellen mit einem Olfaktometer zu untersuchen, welches mit hinreichender Genauigkeit arbeitet, um genaue quantitative Ergebnisse zu erzielen.

II. Das Riechorgan

Die mit Sinnesepithel bedeckte Schleimhaut nimmt beim Menschen nur einen kleinen Raum ein. Nur der Bereich um die Riechspalte, nämlich ein Teil der oberen Muschel und der angrenzende obere Bereich des Septum gilt als Ausbreitungsgebiet. Dies trifft allerdings nur für den Erwachsenen zu, denn die Funktionsentwicklung der menschlichen Nasenschleimhaut ist mit der Geburt noch nicht abgeschlossen. (43) So erstreckt sich beim Kind die Riechschleimhaut auch noch größtenteils über die mittlere Muschel und hat nur eine unscharfe Begrenzung gegenüber der Regio respiratoria. Beim Kind findet man eine Ausdehnung der Regio olfactoria von 500 qmm (40), hingegen beim Erwachsenen eine von etwa 240 qmm. (5)

Das Riechepithel besteht aus Sinneszellen, Stützzellen und Basalzellen. Diese drei Zellarten bilden einen

mehrreihigen Verband. Die von der Tunica propria bis zur Oberfläche reichenden Ausführungsgänge der Glandulae olfactoriae unterbrechen diesen.

Die Sinneszellen, die Riechzellen, sind von langgestreckter, spindelförmiger Gestalt. Der eigentliche Zelleib mit dem großen runden kugelförmigen Kern zeigt einen Fortsatz, den Dentriten, der zur Oberfläche zieht und diese halbkugelig überragt. Die Neuroepithelialzelle trägt hier in der Peripherie ein kleines Bläschen, das Geruchsbläschen, wie elektronenmikroskopisch festgestellt wurde. (12,24) Sehr feine Riechhärchen, deren Anzahl von verschiedenen Autoren sehr unterschiedlich angegeben wird, gehen von hier aus. BLOOM und ENGSTRÖM fanden neuerdings elektronenmikroskopisch bis zu 1000 Härchen pro Zelle (4); lichtmikroskopisch finden sich nur 5 - 8 solcher Riechhärchen. Die Riechzelle stellt eine bipolare Nervenzelle dar, mit einem schlanken zentralwärts ziehendem Ausläufer. In Kernnähe liegt im spitzen Zellfortsatz ein relativ einfach gebauter Golgi - Apparat. Die Riechzellen sind demnach Sinnesnervenzellen in Form von peripheren Ganglienzellen. Die Stützzellen der Regio olfactoria liegen trennend zwischen den Riechzellen. Sie sind von länglicher, zylindriger Form und besitzen einen eiförmigen Kern. Die oberste Kernreihe des Epithels wird von diesen Kernen gebildet, da sie oberflächlicher liegen, als die Kerne der Riechzellen. Die Basalzellen sind mehr von pyramidenartiger Struktur, haben körniges Zytoplasma, und liegen in einfacher Schicht der Tunica propria auf. Sie dürften zum großen Teil dem Ersatz der Stützzellen dienen.

An der Epithelbasis schließen sich die zentripetalen Fortsätze der Riechzellen, die marklose Neuriten darstellen, zu feinen Bündeln zusammen. Diese bilden dann die Fila olfactoria. Nach Durchziehen der Lamina cribrosa

treten die Riechfäden in den Bulbus olfactorius ein. Gemeinsam mit den Dendriten des zweiten Riechbahnneurons bilden sie die Glomerula olfactoria.

Circumscripte Bereiche der Riechschleimhaut sollen sich in bestimmte Teile des Bulbus projizieren. So soll dem oberen Teil der Riechschleimhaut der obere Teil des Bulbus zugeordnet sein, dem unteren Teil der Riechschleimhaut der untere Teil des Bulbus. (2,6) Hier im Bulbus olfactorius, der phylogenetisch einen rudimentären Riechlappen des Gehirns darstellt, beginnt das zweite Neuron. (24)

Man unterteilt in eine primäre Olfactoriusbahn, bestehend aus dem zentralen Fortsatz der Riechzelle, und in eine sekundäre Olfactoriusbahn, die von den Nervenfortsätzen der Hirnzellen gebildet wird. Die sekundäre Riechbahn zieht vom Bulbus dorsalwärts in das Trigonum olfactorium und in die Area olfactoria. Dieser Bezirk wird von den Striae olfactoriae mediales und laterales begrenzt. Diese erstrecken sich in die präpiriforme, frontale und temporale Schicht, ins Corpus amygdaloideum und in den Nucleustecti der Stria terminalis. (33,40) Zahlreiche Verbindungen zu psychomotorischen, sensorischen und vegetativen Zentren sind höchstwahrscheinlich.

III. Geruchsschwellen

HELMHOLTZ definiert ein Sinnesorgan als ein Organ, das zur Produktion einer bestimmten Modalität von Empfindungen befähigt ist. Die Empfindung kalt oder sauer, oder die Empfindung eines bestimmten Tones oder einer Farbe haben nichts gemeinsames, denn sie gehören verschiedenen Empfindungsmodalitäten an. Innerhalb verschiedener

Modalitäten können wiederum verschiedene Qualitäten unterschieden werden, wie etwa Tonhöhenunterschiede bei akustischen Wahrnehmungen. Jedes Sinnesorgan ist so beschaffen, daß es den Menschen über ganz bestimmte Geschehnisse unterrichtet. Das Auge zum Beispiel spricht auf transversale Lichtwellen, das Ohr auf longitudinale Luftwellen an. Jedes Sinnesorgan besitzt also seinen eigenen spezifischen Reiz. JOHANNES MÜLLER hat hierzu das "Gesetz der spezifischen Sinnesenergien" aufgestellt. Dieses Gesetz besagt, daß ein Sinneszentrum immer nur die ihm spezifische Empfindung bewirkt, wenn in ihm irgendeine Erregung ausgelöst wird. Für den Geruchssinn ist der adäquate Reiz wohl in chemischen Substanzen zu sehen. Wie sie allerdings wirksam sind, ist noch nicht sicher bekannt. Demgemäß zählt man den Geruchssinn auch zu den chemischen Sinnen.

Die Leistungsfähigkeit eines Sinnesorganes läßt sich naturwissenschaftlich genau aber nur mittels einer Reizschwelle bei adäquater Reizung beurteilen. Nur diese gibt letztlich Auskunft über den Energieaufwand, der eben gerade zur Erregung führt. (36)

Beim Geruchssinn ist eine Bestimmung von Intensitätsschwellen möglich. Die Intensität eines Geruchsreizes läßt sich sehr gut in eine Maßeinheit fassen, nämlich die Zahl der Riechmoleküle pro Volumeneinheit und Zeiteinheit eingeatmeter Riechluft. Man darf annehmen, daß der adäquate Geruchsreiz zu der Anzahl der Riechmoleküle direkt proportional ist. (10) Auf das Geruchsorgan auftreffende Riechmoleküle sind als adäquater Reiz zu betrachten.

Beim Geruchssinn werden folgende Schwellen unterschieden:

1. Wahrnehmungsschwelle: Eine Schwellenkonzentration, bei der eine Riechsubstanz wahrgenommen, aber weder nach Art, noch nach

Quantität des Geruchsstoffes identifizierbar ist.

2. Erkennungsschwelle: Eine für den Geruchsstoff spezifische Schwelle, die zur Identifizierung führt. Dabei muß der Versuchsperson die Geruchsqualität vorher bekannt sein.
3. Unterschiedsschwelle: Sie gibt an, um wieviel sich zwei Reize quantitativ unterscheiden müssen, um zu klar unterscheidbaren Empfindungen zu führen. Die Qualität der beiden Reize muß dabei gleich bleiben.

In der vorliegenden Arbeit geht es nur um genauere Untersuchungen zur Wahrnehmungs- und Erkennungsintensitätsschwelle. Die angewandte Inblastinjection hat unten zu besprechende Nachteile.

IV. Literaturübersicht zur Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle des menschlichen Geruchsorgans.

PASSY schreibt schon 1896:

"Läßt man den Reiz allmählich über Null hinaus anwachsen, so bemerkt man, daß die Versuchsperson zunächst nichts riecht, dann, daß sie einen vagen und unbestimmten Geruch bemerkt, den sie nicht benennen kann, endlich, daß sie den charakteristischen Geruch wahrnimmt." (28)

TOULOUSE und VASCHIDE schildern dies folgendermaßen:

"Ganz im Anfang empfindet die Versuchsperson nichts, dann bemerkt sie einen undeutlichen Geruch, (sensation brute d'odeur), dann erkennt sie den Kampfer (perception)."

Daraus leiteten sie ein "minimum de sensation", die schwächste Verdünnung des Riechstoffes, die gerade noch eine unbestimmte Geruchsempfindung auslöst, und ein "minimum de perception", die geringste Duftmenge, die die Versuchsperson charakteristisch -etwa als Kampfer- anspricht, ab. (39)

Auch NIQUE und RIVERS unterscheiden in ihren Versuchen zwischen der "allgemeinen" und "speziellen" Schwelle. (27,32)

HENNING trennt eine "Empfindungsschwelle" von einer "Wahrnehmungsschwelle". Er nennt die Schwelle, an der man beginnt, eben etwas zu riechen "Empfindungsschwelle". Die dabei auftretende Empfindung bezeichnet er als "diffus" und bemerkt, daß die Versuchsperson noch nichts zur Charakterisierung des Geruchs aussagen kann. Die "Wahrnehmungsschwelle", wie bei ihm die Schwelle genannt wird, bei der man den Geruch ganz und charakteristisch erfassen kann, ist erst erreicht, wenn über die "Empfindungsschwelle" hinaus mehr Duftstoff angeboten wird. Er ist also in seiner Wortwahl genau umgekehrt wie andere Autoren. Weiterhin stellt er fest, daß gut bekannte Gerüche rascher und bei geringeren Mengen erkannt werden. Zudem sollen Gerüche mit "zahlreichen Ähnlichkeiten" später spezifiziert werden, als einfache Gerüche. (16)

ZWAARDEMAKER betont die verschiedenen Schwierigkeiten, auf die man stößt, wenn man von Geruchsschwelle spricht. Er glaubt, daß viele Fehler bei olfaktometrischen Untersuchungen darauf beruhen, daß bei Patienten nicht die "Reizschwelle" bestimmt wird, sondern die "Erkennungsschwelle". Er versteht unter der ersten Bezeichnung das Riechstoffminimum, bei dem eben noch die Anwesenheit eines kaum merkbaren Gegensatzes zwischen etwas Riechbarem und

Geruchslosigkeit festgestellt werden kann. Reizschwelle und Erkennungsschwelle fallen nach seinen Beobachtungen nicht zusammen; vielmehr soll der Unterschied ganz von der Qualität des Riechstoffes abhängen. Manche Qualitäten seien zwar scharf und schnell zu erkennen (zu spezifizieren und identifizieren), doch bleibt bei allen Riechsubstanzen ein gewisser Unterschied zwischen Reiz- und Erkennungsschwelle. (46)

VON KRIES unterscheidet einen "generellen Schwellenwert" und einen "speziellen Schwellenwert". Mit ersterem meint er den Schwellenwert, der ausreicht, überhaupt eine Empfindung auszulösen, mit letzterem den, der erforderlich ist, um eine bestimmte Beschaffenheit des Vorgangs, beziehungsweise der Empfindung, erkennbar zu machen. (21)

KRISTENSEN und ZILSTORFF - PEDERSEN unterscheiden einen "minimum perceptible odor" (MPO) und einen "minimum identifiable odor" (MIO). Sie fanden, daß MPO und MIO bei Kaffee nahe zusammenliegen, dagegen bei Citral weiter auseinander. (22) Bei späteren Untersuchungen gibt ZILSTORFF - PEDERSEN an, daß für die meisten Riechstoffe der Wert für das Minimum identifiable bedeutend größer ist, als für das Minimum perceptibile. (44)

V. Beschreibung des verwendeten Olfaktometers.

Zu den Riechschwellenbestimmungen benutzten wir ein Olfaktometer, das nach dem Prinzip von STUIVER arbeitete. (37,38) Die apparative Anlage erfuhr einige Änderungen (KITTEL) und ist wohl für Riechschwellenuntersuchungen mit am geeignetsten. Die Vorzüge gegenüber anderen

Konstruktionen sind wiederholt deutlich hervorgehoben worden. (10,19)

Prinzip:

Eine genau gemessene Menge Stickstoff wird durch ein mit dem Riechstoff (etwa Aceton) gefülltes Gefäß geleitet. Man wählt Stickstoff als Trägergas für den Riechstoff, weil er die Riechsubstanz nicht oxydiert, chemisch rein ist und keinen Eigengeruch besitzt. Dieses Gasgemisch wird nun mit einem zweiten, wiederum genau abgemessenen Stickstoffstrom verdünnt. Eine zweite Verdünnung erfährt das Riechgasgemisch durch eine Vermengung mit der "reinen Luft", die genau bemessen noch hinzugefügt wird. Völlig unabhängig voneinander lassen sich nun Injektionszeit, Injektionsvolumen und Injektionsgeschwindigkeit einstellen.

Die reine Luft, oder Nullluft, wird durch einen sogenannten Trockenläuferkompressor aus einem Raum angesaugt, von dem der Untersuchte hermetisch getrennt ist, und der möglichst geruchsarm ist. Außerdem ist sichergestellt, daß die angesaugte Nullluft von vorneherein ohne Eigengeruch ist. Dies ist keineswegs leicht zu bewerkstelligen, da es große Schwierigkeiten macht, den Trockenläufermotor frei von riechenden Schmierstoffen zu bringen und dennoch seine Funktionsfähigkeit über längere Zeit zu erhalten.

Nach Filterung der Außenluft durch ein geruchfreies Spezialpapierfilter und nach Durchströmung der Nullluft durch zwei großvolumige Waschflaschen, die mit destilliertem Wasser angefüllt sind, ist aber doch eine befriedigende Reinigung möglich.

Zur Beseitigung von physikalisch möglichen Störmomenten auf die "reine Luft" werden Temperatur und Leuchtigkeitsgehalt der Luft konstant gehalten. Dies wird dadurch

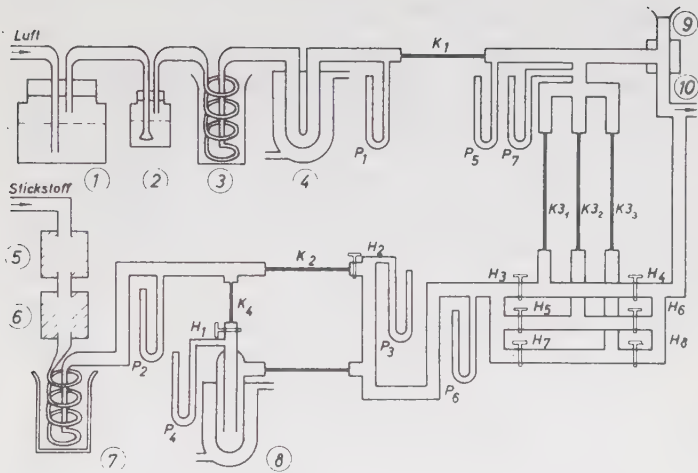


Diagramm des Olfaktometers

(1) Waschflasche, (2) Waschflasche, (3) Eiskühler,
 (4) Thermostat, (5) Aktivkohlefilter, (6) Silikagel-
 filter, (7) Kühlfalle mit flüssiger Luft, (8) Riech-
 stoffgefäß mit Thermostat, (9) Ventil zur Nase, (10)
 Ventilationssystem, P Manometer, K Kapillare,
 H Hahn

erreicht, daß die Luft erst bei Zimmertemperatur in der zweiten Waschflasche mit Wasserdampf gesättigt wird, dann mit einem Eiskühler auf 0° Celsius abgekühlt wird und schließlich mit Hilfe eines Thermostaten wieder auf 17° Celsius erwärmt wird. Dies gewährleistet eine konstante Luftfeuchtigkeit von 32 %.

Der Stickstoff, zur Aufbereitung des Riechstoffgemisches und zur ersten Verdünnung, kommt aus einer Pressluftflasche und ist industriell doppelt gereinigt. Eine Nachreinigung durch Adsorption an Aktivkohle und Silicagel ist aber dennoch nötig. Um auch die letzten Verunreinigungen des Stickstoffes zu beseitigen, wird er noch in einer "Kondensationsfalle" durch flüssige Luft geleitet.

Im wesentlichen besteht der Apparat aus drei "Linien", wie aus dem Diagramm ersichtlich. Oben ist die erste, in der Mitte die zweite und unten die dritte Linie.

In jede sind Kapillaren eingebaut (K_1 , K_2 , K_4).

Ein Teil des Duftgemisches (Stickstoff - Aceton - Gemisch) aus der zweiten Linie wird durch eine Kapillare (K_{3_1} , K_{3_2} oder K_{3_3}) in die erste Linie geschickt. Die eingeschliffenen Glashähnen ohne riechende Schmierung, H_1 - H_8 kontrollieren den durch die drei Linien strömenden Luft- oder Stickstoffstrom.

Die Menge des Riechstickstoffstromes, der durch eine der Kapillaren K_3 fließt, wird durch den Hahn H_4 für K_{3_1} , durch Hahn H_6 für K_{3_2} , durch Hahn H_8 für K_{3_3} geregelt. Der größte Teil des Stickstoffriechstoffgemisches wird durch das Ventilationssystem ins Freie geleitet, nur ein kleiner Teil strömt in die Hauptlinie. Die drei verschiedenen Kapillaren zwischen der zweiten und ersten Linie wurden eingebaut, um die Variationsbreite zur Herstellung der verschiedenen Riechstoffkonzentrationen zu erweitern. Durch die verschiedenen Hähnen läßt sich die nun jeweils benötigte Kapillare,

die alle einen anderen Querschnitt haben, einschalten.

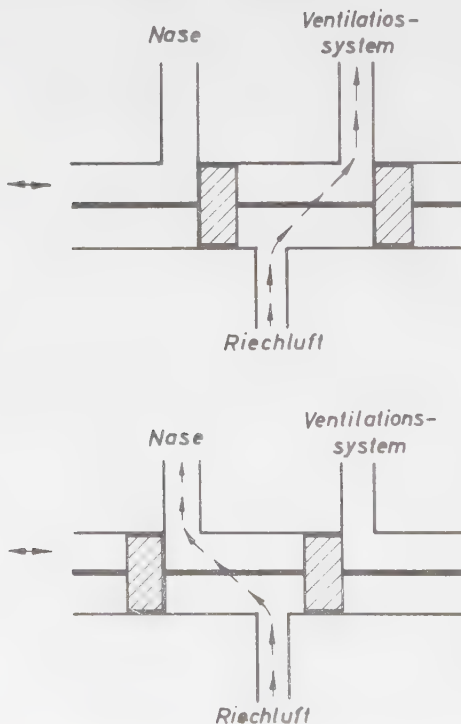
Der Stickstoff in der dritten Linie wird durch das Verdampfungsgefäß (Riechstoffgefäß) geleitet. Wird der Stickstoff mit dem Riechstoff gesättigt, kann man mit Hilfe des Dampfdruckes und der Temperatur, die mit einem Ultrathermostaten geregelt wird, die Konzentration des Riechstoffes in der dritten Linie bestimmen. Die Anzahl der in einem Kubikzentimeter eines Gasgemisches enthaltenen Moleküle der verschiedenen Bestandteile ist bei genügender Verdünnung und bei konstanter Temperatur ihren Partialdrücken proportional, wie das "Gesetz idealer Gase" aussagt. Danach ist die Konzentration der Substanzmoleküle dem Dampfdruck proportional, wenn ein Gas mit dem Dampf einer Substanz gesättigt ist. Der Dampfdruck steigt mit der Temperatur an, entsprechende Werte sind aus Dampfdruckkurven zu entnehmen.

Wo der Riechstickstoffstrom der dritten Linie in die zweite Linie einströmt, wird er durch den reinen Stickstoff, der die Kapillare K_2 durchfließt, verdünnt. Die Konzentration des Riechstoffes der zweiten Linie ist also durch die Mengen bestimmt, die die Kapillaren K_2 und K_4 durchströmen. Der kleine Teil des Duftgemisches der durch eine der Kapillaren K_3 in die erste Linie fließt, wird mit der "reinen Luft" verdünnt. Die dann entstehende Mischung (Luft - Stickstoff - Riechstoff - Gemisch) kann in ihrer Konzentration aus den bekannten Fließmengen und der Ausgangskonzentration berechnet werden.

Die eingebauten Kapillaren sind alle geeicht. Die Durchflußmenge des Gases durch die Kapillaren mit ihrem konstanten Querschnitt ist also bei variablem Druck bekannt. Durch Manometer kann der vor und hinter der einzelnen Kapillare herrschende Druck abgelesen werden. Die zwischen zwei Manometer jeweils herrschende Druckdifferenz gibt den Druck an, der an der dazwischen-

liegenden Kapillare herrscht (δ_1, δ_2 , usw.). Der Druck an der Kapillare K_1 zum Beispiel ergibt sich also aus der Differenz der Werte von P_1 und P_5 ($\delta_1 = P_1 - P_5$). Zur Druckmessung sind 7 offene Manometer eingebaut. P_1, P_2, P_4 sind mit Quecksilber, P_3, P_5, P_6, P_7 mit Wasser gefüllt. Letztere sind nur an Stellen angebracht, an denen keine Riechlufte vorbeiströmt, damit sich keine Riechsubstanz im Wasser lösen kann.

Das Ventil zur Nase wird elektrisch gesteuert und erlaubt eine Zeiteinstellung von 0,04 bis 10 Sekunden. Es ist so konstruiert, daß der kontinuierlich fließende Strom der Riechlufte durch ein Doppelstempelsystem zum Nasenansatzstück umgelenkt wird.



Ventil zur Umlenkung der Riechlufte

Während der "Einblasung" strömt der Riechlüftstrom durch einen kurzen eigengeruchsfreien Teflonschlauch über ein Nasenansatzstück zur Versuchsperson in das Olfaktorium nach Kittel. In der übrigen Zeit, in der nicht eingeblasen wird, strömt der ganze Riechlüftstrom durch das Ventil und wird durch das Ventilationssystem ins Freie abgesaugt. Der eine Stempel, der den Weg zum Nasenansatzstück reguliert, schließt nicht ganz dicht ab, damit sich auch die Riechlüft, die sich in dem kurzen Stück Schlauch zwischen Ventil und Nase befindet, an die jeweilige Riechstoffkonzentration anpaßt. Das Olfaktorium ist eine Kammer, in der die Versuchsperson "geruchsdicht" von der Außenwelt abgetrennt ist. Obendrein wird dort die Luft ständig erneuert, sodaß Adaptationerscheinungen weitgehend ausgeschlossen sind. Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt werden im Olfaktorium auch konstant gehalten. Die Verständigung zwischen dem Versuchsleiter außerhalb und der Versuchsperson im Olfaktorium geschieht mit Hilfe von Klingelzeichen.

Der ganze Apparat ist so weit als möglich aus Glas hergestellt. Kurze Schlauchverbindungen bestehen aus nicht-riechendem Teflonschlauch. Die Hahnen sind eingeschliffen und wegen eventuell störender Beigerüche nicht mit Dichtfett geschmiert. Die Rohre sind bei engem Durchmesser möglichst kurz, um die Innenoberfläche und damit auch die Adsorption so gering wie möglich zu halten.

VI. Ablauf der Versuche

Schon zwei Stunden vor Beginn von Experimenten wird das Olfaktometer in Betrieb genommen, damit sich ein

Adsorptionsgleichgewicht zwischen den Molekülen, die an der Innenoberfläche des Apparates haften, und den Riechmolekülen, die sich wieder von der Oberfläche lösen, einstellt.

Das Riechgasgemisch wird den Versuchspersonen über je 2 Sekunden eingeblasen. Um eine Situation zu erreichen, die möglichst auch dem natürlichen Riechen entspricht, wird den Versuchspersonen zusätzlich noch erlaubt, zu schnüffeln. Bei diesem Schnüffeln wird die Luft plötzlich mit höherer Geschwindigkeit in die oberen Abschnitte der Nase geführt. Vor allem kommt es zu stärkeren Wirbelbildungen der sonst im wesentlichen laminar strömenden Einatemungsluft. (11,45,47) Der Anteil an Luft, der durch die Riechspalte zieht ist so am stärksten. Eine extreme Künstlichkeit der Methode, wie es etwa die reine Injektionstechnik darstellt, ist somit ausgeschaltet, sodaß die Ergebnisse in etwa noch auf natürliche Bedingungen übertragen werden können. Grobe Verfälschungen der Ergebnisse durch Einblasdruck und Einblasgeschwindigkeit werden dadurch verhindert. (7,20,37,41) Um diese Fehlerquelle weiterhin auszuschalten, wird bei nahezu allen Versuchen soweit als möglich die Injektionsgeschwindigkeit, der Injektionsdruck und damit die Injektionsmenge konstant gehalten (ca. 450 ccm/sec.). Es muß jedoch noch berücksichtigt werden, daß niemals alle in die Nase eintretenden Moleküle die Riechschleimhaut erreichen. STUIVER berechnet die auftreffenden Moleküle bei normaler Atmung etwa auf 2 % aller in die Nase eintretenden Riechmoleküle. (37)

Um psychogene Störmomente auszuschließen, die unter Umständen erhebliche Fehlerquellen darstellen können, werden alle Versuchspatienten erst genau mit dem Versuchsablauf vertraut gemacht. Das Mißtrauen vor der

fremden Apparatur schwindet meist schnell und auch einfache Patienten begreifen relativ schnell den Versuchsablauf. Am Anfang jeder Untersuchung steht ein "Eintrainieren" auf den Geruchsstoff Aceton. Zuerst wird ein kleines Fläschchen, welches mit Aceton gefüllt ist, der Versuchsperson unter die Nase gehalten. Sie darf einige Male schnüffeln und merkt sich so schon grob den Geruch, falls er, was selten zu beobachten ist, noch gänzlich unbekannt ist. Danach werden etwa 25 - 30 überschwellige Geruchseinblasungen mit wechselnder Konzentration gegeben. So ist in jedem Fall eine gleichmäßige Einübung gewährleistet. KITTEL wählte als Geruchsstoff das relativ ungiftige Aceton, zumal sein Geruch schon meist bekannt ist und die Schwelle für Aceton nicht allzu niedrig liegt. Jeder Versuchsperson wird noch die sogenannte Nullluft demonstriert, d. h. reine Luft eingeblasen. Nur wenige Versuchspersonen müssen hiernach schon aus dem Versuch genommen werden, weil sie allein die mit etwas Druck einströmende Luft als Geruchsreiz empfinden, eine Beobachtung, die auch schon früher gemacht wurde. (1,26,37) Um Adaptationserscheinungen auszuschalten, wird zwischen zwei Reizen immer mindestens 1 Minute gewartet.

Die Wahrnehmungsschwelle wird so geprüft, daß zuerst reine Luft zum Riechen angeboten wird. Langsam wird ihr dann von einer Einblasung zur anderen etwas mehr Riechstoff beigelegt. Diese Konzentrationssteigerung erfolgt, bis der Patient gerade einen Geruch wahrnimmt, ohne ihn genau erkennen zu können. Diese allmähliche Geruchssteigerung bis zur Wahrnehmungsschwelle wird stets vielfach wiederholt, um nicht zu einem Zufallswert zu gelangen.

Zur Ermittlung der Erkennungsschwelle wird der Versuchsperson zuerst ein deutlich überschwelliger Geruchsreiz

angeboten. Von Einblasung zu Einblasung wird nun die Konzentration des Geruchsstoffes verringert, bis sich der Charakter des Geruches so verändert, daß die Versuchsperson keinen Acetongeruch mehr erkennen kann. Dies wird auch mehrfach eintrainiert. Ähnlich ging auch HESSE vor. (17)

Die Untersuchungen erfolgen meist dirhin, d. h. die Riechlufte wird gleichzeitig in beide Nasenlöcher appliziert. Nur bei Patienten mit stärkerer Divergierung der Schwellen beider Nasenhälften wird eine monorhine Untersuchung angeschlossen.

VII. Berechnung der Riechstoffkonzentration

Das Grundprinzip der Bestimmung der Riechstoffkonzentration beruht auf dem Prinzip der Dampfsättigung. Wird ein Gas mit einem anderen gesättigt, verhalten sich die Partialdrucke entsprechend zu ihrem Mischungsverhältnis.

$$\frac{P_N}{P_A} = \frac{M_N}{M_A}$$

P_N = Partialdruck des Stickstoffs

P_A = Partialdruck des Acetons

M_N = Anzahl der Mole Stickstoff

M_A = Anzahl der Mole Aceton

Um diese Gleichung auflösen zu können, benutzt man noch die "allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase":

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

P = Druck

V = Volumen

n = Anzahl der Mole

R = Gaskonstante = 0,08205

T = Temperatur in Kelvin Graden

Setzt man nun die eine Gleichung in die andere ein und löst nach M_A auf, erhält man:

$$M_A = \frac{P_A \cdot V_N}{R \cdot T}$$

V_N = Volumen Stickstoff (hier 1, da die Anzahl der Riechmoleküle pro ml bestimmt wurde)

Um die Anzahl der Riechmoleküle pro ml zu erhalten, muß man die Anzahl der Mole Aceton mit der LOSCHMIDTSCHEN Zahl multiplizieren.

$$Z_A = M_A \cdot L$$

Z_A = Anzahl der Acetonmoleküle aus dem Riechgefäß

L = Loschmidtsche Zahl

Nun müssen die verschiedenen Verdünnungen mittels des reinen Stickstoffstromes und der reinen Luft noch berücksichtigt werden. Dies geschieht mit Hilfe der durch die Kapillaren messbaren Durchflußgeschwindigkeiten (J_1, J_2, J_3, J_4 , jeweils in ml / sec.). Die Durchflußgeschwindigkeiten ergeben sich aus den jeweiligen Druckdifferenzen und den jeweiligen Kapillarkonstanten folgendermaßen:

$J_1 = (P_1 - P_5)$ Kapillarkonstante 1

$J_2 = (P_2 - P_3)$ Kapillarkonstante 2

$J_3 = (P_6 - P_7)$ Kapillarkonstante 3

$J_4 = (P_2 - P_4)$ Kapillarkonstante 4

Dabei gilt es zu beachten, daß P_1 , P_2 und P_4 in mm Hg gemessen werden, die anderen Drucke in mm Wassersäule.

Dies zieht eine Umrechnung nach sich (Druck in mm $H_2O \cdot 0,076 =$ Druck in mm Hg).

Die erste Verdünnung (VD) durch den Stickstoff ergibt sich dann aus folgender Formel:

$$VD = \frac{J_4 \cdot Z_A}{J_4 + J_2} \quad \text{Dimension von VD: Moleküle/ml}$$

Die entgültige Molekülezahl (MZ) des Riechstoffes pro ml eingeblasener Luft errechnet sich aus nachstehender Formel:

$$MZ = \frac{VD \cdot J_3}{J_1 + J_3}$$

VIII. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Meßergebnisse geschieht nach den üblichen Regeln der Statistik. Zunächst wird eine Bestimmung des mittleren Fehlers des Mittelwertes vorgenommen. Dabei wird aus den gefundenen Werten der Mittelwert gebildet.

$$\text{Mittelwert} = \frac{\text{Summe aller Einzelwerte}}{\text{Anzahl der Zählungen}}$$

Danach erfolgt eine Bestimmung der Streubreite der Einzelwerte. Von dem errechneten Mittelwert ausgehend kann mit Hilfe eines statistischen Verfahrens auf die Streubreite der Einzelwerte, die dem Mittelwert zugrunde liegen geschlossen werden.

Zuerst werden zur Bestimmung der Streubreite der Einzelwerte die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert gebildet:

$$\Delta x = x - m$$

Wobei: Δx = Abweichung des Einzelwertes vom Mittelwert
 x = Einzelwert
 m = Mittelwert

Die so gewonnenen Δx werden jeweils quadriert und alle Quadrate addiert. Die so erhaltene Summe aller Quadrate der Einzelabweichungen werden in die folgende Formel eingesetzt:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\text{Summe aller } (\Delta x)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta x)^2}{n - 1}}$$

Mit σ wird der Abstand des Wendepunktes der Gauß'schen Glockenkurve von deren Symmetrieachse bezeichnet. Zwischen $\pm \sigma$ liegen 68 %, d. h. 2/3 aller gefundenen Einzelwerte. Die Genauigkeit wird erheblich dadurch erhöht, indem man die 2 σ oder 3 σ Werte angibt.

Innerhalb $m \pm 1,6 \sigma$ liegen 90 % aller Einzelwerte
 $m \pm 2 \sigma$ liegen 95 % aller Einzelwerte
 $m \pm 3 \sigma$ liegen 99,7 % aller Einzelwerte

Wichtiger noch als die kritische Betrachtung dieser Streubreite der Einzelwerte ist die Beurteilung der Genauigkeit des Mittelwertes. Eine Auswahl von Einzelwerten ergibt sich bei jeder Zählung zufällig. Dadurch werden bei einer Zählung etwa viel mehr Werte oberhalb des Mittelwertes, bei einer anderen vermehrt kleinere Einzelwerte erfaßt, sodaß die gefundenen Mittelwerte verschiedener Zählungen nicht übereinstimmen. Wichtig ist deshalb eine exakte mathematisch fundierte Aussage darüber, ob zwei verschiedene Mittelwerte durch eine zufällige Erfassung anderer Einzelwerte bedingt sind, oder ob sie tatsächlich signifikant voneinander verschieden sind.

Für den mittleren Fehler des Mittelwertes $\bar{\sigma}$ gilt folgende Formel:

$$\bar{\sigma} = \frac{\text{Streubreite der Einzelwerte}}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Für $\bar{\sigma}$ gilt das Gleiche wie für σ nämlich innerhalb $\pm 3 \bar{\sigma}$ liegen 99,7 % aller möglichen Mittelwerte. Ein Mittelwert ist also nur dann von einem unter gleichen Bedingungen gefundenen Mittelwert signifikant verschieden, wenn der Abstand zwischen beiden genauso groß oder grösser ist, als $3 \bar{\sigma}$.

IX. Ergebnisse

Zunächst wurden 100 Personen untersucht, die sicher an keiner Störung des Geruchssinnes litten. Das Alter schwankte zwischen 18 und 28 Jahren. 62 der Versuchspersonen waren männlich, 38 weiblich. Vorwiegend handelte es sich bei den Versuchspersonen um Studenten, denen der Versuchsablauf relativ schnell zu erklären war und die meist ziemlich exakt ihre Antworten gaben.

Folgende Werte wurden erzielt:

Versuchsperson	Wahrnehmungsschwelle	Erkennungsschwelle
	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}
1	10,10	11,10
2	18,50	35,20
3	12,00	15,60
4	7,22	9,94
5	1,59	2,43
6	5,48	6,27
7	3,64	8,96
8	3,87	5,64
9	3,42	8,47
10	6,96	10,10
11	7,35	15,50
12	9,58	9,65
13	14,51	18,65
14	4,60	6,70
15	8,12	12,30
16	12,20	15,70
17	14,92	22,05
18	10,72	18,57
19	4,53	12,00
20	24,01	52,00
21	7,06	10,01
22	8,80	19,60
23	7,80	11,00
24	4,33	5,38
25	12,41	16,73
26	11,38	25,20
27	18,00	22,00
28	10,86	24,80
29	18,70	24,90
30	13,50	53,00
31	2,01	2,59
32	6,65	15,20
33	1,70	6,03
34	2,90	3,86
35	5,57	9,56

Versuchsperson	Wahrnehmungsschwelle	Erkennungsschwelle
	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}
36	5,50	8,95
37	5,10	7,23
38	12,88	16,88
39	4,71	12,80
40	3,59	7,14
41	9,94	17,70
42	9,93	14,50
43	7,40	11,20
44	2,88	5,17
45	1,92	3,14
46	2,90	7,00
47	1,73	2,76
48	4,89	7,35
49	2,74	4,30
50	5,67	6,67
51	1,73	1,98
52	4,32	5,00
53	1,28	2,27
54	2,78	4,02
55	1,64	1,97
56	3,78	5,46
57	3,91	5,63
58	2,65	5,21
59	17,25	23,80
60	10,90	23,80
61	18,75	29,80
62	18,43	26,73
63	7,24	9,81
64	10,38	16,28
65	11,73	18,49
66	12,52	18,38
67	5,38	6,99
68	8,42	12,35
69	9,76	17,31
70	6,57	15,74

Versuchsperson	Wahrnehmungsschwelle	Erkennungsschwelle
	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}
71	5,43	6,52
72	1,62	2,03
73	3,78	7,25
74	5,58	8,96
75	2,76	3,59
76	4,28	5,09
77	3,97	5,84
78	16,32	24,12
79	9,57	13,92
80	12,37	15,44
81	6,84	10,05
82	7,97	16,01
83	12,31	15,84
84	7,24	11,39
85	1,94	3,17
86	4,92	7,42
87	2,81	3,74
88	14,72	18,98
89	5,61	8,97
90	5,47	6,53
91	13,31	20,52
92	2,91	5,23
93	9,59	13,24
94	11,29	16,59
95	9,87	17,63
96	1,61	1,93
97	13,87	17,92
98	3,03	4,97
99	7,85	11,38
100	12,34	18,79

Versuchsperson	Differenz zwischen Erkennungs- u. Wahr- nehmungsschwelle Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Faktor, um den die Erkennungsschwelle höher liegt, als die Wahrnehmungs- schwelle
1	1,00	1,10
2	16,70	1,90
3	3,60	1,30
4	2,72	1,38
5	0,84	1,53
6	0,79	1,14
7	5,32	2,46
8	1,77	1,46
9	5,05	2,48
10	3,14	1,58
11	8,15	2,16
12	0,07	1,01
13	4,14	1,28
14	2,10	1,45
15	4,18	1,53
16	3,50	1,28
17	7,13	1,48
18	7,85	1,72
19	7,47	2,81
20	27,99	2,15
21	2,95	1,42
22	10,80	2,22
23	3,30	1,30
24	1,05	1,24
25	4,32	1,34
26	13,62	2,22
27	4,00	1,22
28	13,94	2,28
29	6,20	1,32
30	39,50	3,91
31	0,58	1,28
32	8,55	2,28
33	4,53	3,54
34	0,96	1,33
35	3,99	1,72

Versuchsperson	Differenz zwischen Erkennungs- u. Wahr- nehmungsschwelle Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Faktor, um den die Erkennungsschwelle höher liegt, als die Wahrnehmungs- schwelle
36	3,45	1,63
37	2,13	1,42
38	4,00	1,31
39	8,09	2,72
40	3,55	1,99
41	7,76	1,78
42	4,57	1,46
43	3,80	1,51
44	2,29	1,79
45	1,22	1,63
46	4,10	2,41
47	1,03	1,60
48	2,46	1,50
49	1,56	1,57
50	1,00	1,17
51	0,25	1,14
52	0,68	1,15
53	0,99	1,77
54	1,24	1,44
55	0,33	1,20
56	1,68	1,43
57	1,72	1,44
58	2,56	1,96
59	6,55	1,47
60	12,90	2,18
61	11,05	1,58
62	8,30	1,45
63	2,57	1,35
64	5,90	1,56
65	6,76	1,58
66	5,86	1,46
67	1,61	1,30
68	3,93	1,45
69	7,55	1,78
70	9,17	2,39

Versuchsperson	Differenz zwischen Erkennungs- u. Wahr- nehmungsschwelle Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Faktor, um den die Erkennungsschwelle höher liegt, als die Wahrnehmungs- schwelle
71	1,09	1,18
72	0,41	1,25
73	3,47	1,91
74	3,38	1,60
75	0,83	1,30
76	0,81	1,18
77	1,87	1,47
78	7,30	1,47
79	4,35	1,45
80	3,07	1,24
81	3,21	1,46
82	8,04	2,01
83	3,53	1,29
84	4,15	1,57
85	1,23	1,63
86	2,50	1,51
87	0,93	1,33
88	4,26	1,29
89	3,36	1,60
90	1,06	1,19
91	7,21	1,54
92	2,32	1,79
93	3,65	1,38
94	5,30	1,47
95	7,76	1,78
96	0,32	1,19
97	4,05	1,29
98	0,94	1,64
99	3,53	1,45
100	6,45	1,52

Dies ergibt einen mittleren Wert für die Wahrnehmungsschwelle von

$$7,77 \cdot 10^{14} \text{ Molekülen Aceton / ml}$$

und für die Erkennungsschwelle von

$$12,54 \cdot 10^{14} \text{ Molekülen Aceton / ml.}$$

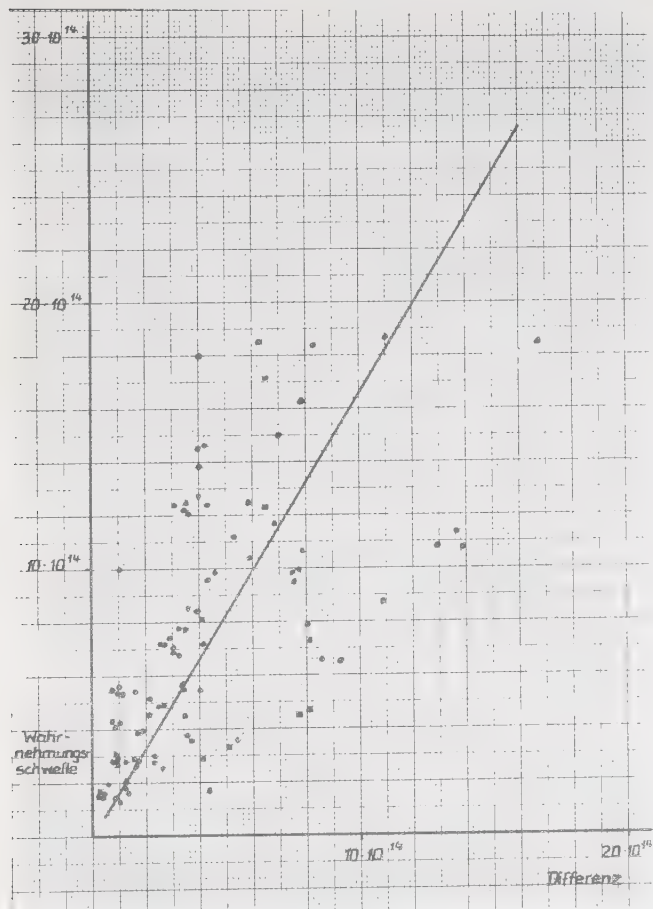
Der niederste Wert für die Wahrnehmungsschwelle lag bei $1,28 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml; der höchste Wert lag bei $24,01 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml. Für die Erkennungsschwelle ergab sich ein niederster Wert von $1,97 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml und ein höchster Wert von $53 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml.

Vergleiche der beiden aufgefundenen Mittelwerte mit Hilfe des vorher aufgezeigten statistischen Verfahrens zeigen deutlich, daß die beiden Mittelwerte signifikant voneinander verschieden sind. Der Wert von $3 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$ ist für die Wahrnehmungsschwelle 1,49 und für die Erkennungsschwelle 2,75. Die Differenz der beiden ermittelten Mittelwerte beträgt 4,77, was die Signifikanz des Unterschiedes der beiden Mittelwerte beweist, da die beiden $3 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$ Werte jeweils kleiner sind (1,49 und 2,75).

Dividiert man nun den Mittelwert der Erkennungsschwelle durch den Mittelwert der Wahrnehmungsschwelle, so erhält man den Faktor, um den die Erkennungsschwelle höher liegt als die Wahrnehmungsschwelle. Der Faktor beträgt etwa 1,6 d. h. die Erkennungsschwelle für Aceton liegt 1,6 mal höher als die Wahrnehmungsschwelle für Aceton.

Die Erkennungsschwelle für Aceton liegt also nicht immer um die gleiche Molekülzahl über der Wahrnehmungs-

schwelle für Aceton, sondern immer etwa 1,6 mal höher als die Wahrnehmungsschwelle. Dies läßt sich auch durch einige Kurven graphisch darstellen. In Kurve 1 sind die Werte der Wahrnehmungsschwelle in Abhängigkeit zu den Werten der Differenz zwischen Erkennungs- und Wahrnehmungsschwelle eingetragen. Man erhält eine Gerade



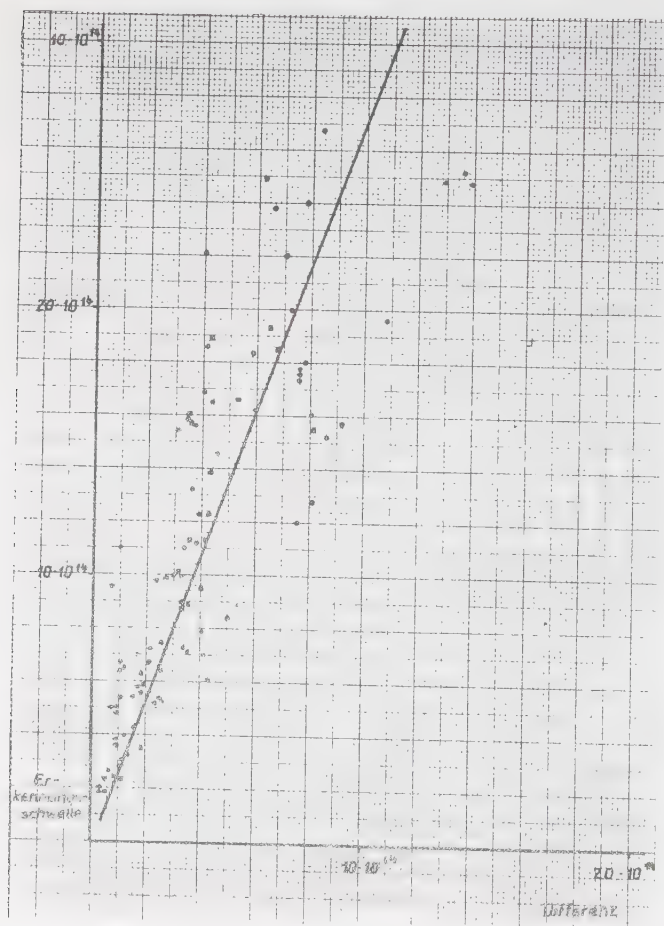
Kurve 1

als Ausdruck dafür, daß die Wahrnehmungsschwelle durchschnittlich 1,67 mal so hoch ist, wie der Unterschied zwischen beiden Schwellen. Rechnerisch läßt sich dies so feststellen:

Summe der Wahrnehmungsschwellen : Summe der Differenzen
beider Schwellen = Faktor des Unterschiedes

$$777,37 : 464,31 = 1,67$$

Verfährt man genauso und trägt die Erkennungsschwelle



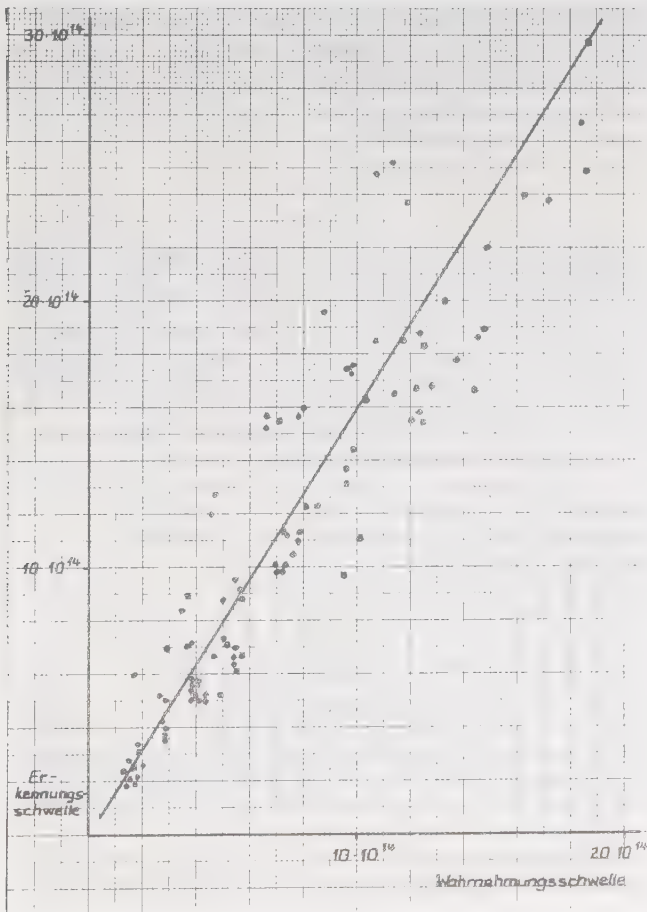
Kurve 2

in Abhängigkeit zum Unterschied zwischen beiden Schwellen auf, so erhält man eine Gerade mit dem Mittelwert 2,7.
(Kurve 2)

Summe der Erkennungsschwelle : Summe der Differenzen
beider Schwellen = Faktor des Unterschiedes

$$1253,56 : 464,31 = 2,7$$

Beide Schwellen verlaufen nicht im gleichen Proportionalitätsfaktor zur Differenz der beiden Schwellen. Deutlich



Kurve 3

zeigt sich, daß der Absolutbetrag des Unterschiedes sich bei jedem Schwellenbetrag ändert. Wird (Kurve 3) die Erkennungsschwelle in Abhängigkeit zur Wahrnehmungsschwelle aufgetragen, so wird der konstante Faktor 1,6 um den die Erkennungsschwelle über der Wahrnehmungsschwelle liegt, durch die ansteigende Gerade deutlich.

Die Untersuchungen zeigen, daß es nicht von Bedeutung ist, welche der beiden Schwellen zuerst bestimmt wird. Die jeweilige Schwellenkonzentration der einzelnen Versuchspersonen bleibt davon unbeeinflusst. In keinem der Fälle ergibt sich für beide Schwellen der gleiche Wert.

Das zweite Kollektiv setzt sich aus Patienten zusammen, die unter verschiedensten Beeinträchtigungen ihres Geruchssinnes leiden. Das Alter der Patienten schwankt zwischen 16 und 65 Jahren. 16 der Patienten sind männlich, 14 weiblich. Bei allen Patienten findet sich subjektiv eine Störung des Geruchssinnes. Bei Kollektiv II wurden folgende klinische Befunde erhoben:

Stoßartige Vertikalelevationen bei 10 Patienten

Essentielle Hyposmie bei 6 Patienten

Polypose nasi bei 5 Patienten

Erstarrt nach Schmelzen bei 4 Patienten

Kohlenmonoxyd Vergiftung bei 2 Patienten.

Eine weitere Anzahl von 15 Personen konnte, mittels der psychologischen Methode, keiner objektiven Unter-

suchung unterzogen werden, da die Schwelle (zumindest die Erkennungsschwelle) bei Konzentrationen jenseits der apparativen Aussteuerung lag. Die obere Grenzkonzentration des verwendeten Olfaktometers, die mit Aceton noch genau hergestellt werden kann, liegt bei etwa $1 \cdot 10^{17}$ Molekülen / ml. Darüber liegende Erkennungsschwellen entsprechen bereits einer hochgradigen Hyposmie. Um sie zu erfassen, müßte eine Riechsubstanz niedrigerer Schwellenkonzentration herangezogen werden. Hiervon nahmen wir jedoch zur Vermeidung apparativer "Verunreinigungen" Abstand.

Die Schwellenwerte des Kollektiv II betragen:

Versuchsperson	Wahrnehmungsschwelle	Erkennungsschwelle
	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}
1	57,90	257,00
2	224,00	241,00
3	43,80	147,50
4	27,95	38,00
5	21,60	27,60
6	200,50	557,50
7	367,00	405,00
8	125,20	202,20
9	108,80	178,60
10	73,57	119,20
11	94,10	219,23
12	155,90	262,90
13	115,80	293,20
14	16,36	26,70
15	40,25	74,06
16	52,25	143,69
17	61,90	80,47
18	98,52	300,48
19	134,31	193,41
20	81,81	163,70
21	6,98	23,73
22	29,53	62,50
23	35,04	64,20
24	48,97	64,20
25	41,90	75,42
26	109,81	160,82
27	33,95	71,85
28	31,24	41,24
29	58,42	82,57
30	156,70	272,40

Versuchsperson	Differenz zwischen Erkennungs- u. Wahr- nehmungsschwelle Acetonmoleküle pro ml mal 10^{14}	Faktor, um den die Erkennungsschwelle höher liegt, als die Wahrnehmungs- schwelle
1	199,10	4,44
2	17,00	1,07
3	103,70	3,37
4	10,05	1,36
5	6,00	1,28
6	357,00	2,79
7	38,00	1,10
8	75,00	1,60
9	69,80	1,64
10	45,63	1,62
11	125,13	2,33
12	107,00	1,67
13	177,40	2,53
14	10,34	1,63
15	33,81	1,84
16	91,44	2,75
17	18,57	1,30
18	201,96	3,05
19	59,10	1,44
20	81,89	2,00
21	16,75	3,40
22	32,97	2,12
23	29,16	1,83
24	15,23	1,31
25	30,52	1,80
26	51,01	1,46
27	37,90	2,30
28	10,00	1,32
29	24,15	1,41
30	115,70	1,74

Dies ergibt einen durchschnittlichen Wert für die Wahrnehmungsschwelle von

$88,47 \cdot 10^{14}$ oder $8,847 \cdot 10^{15}$ Molekülen
Aceton / ml

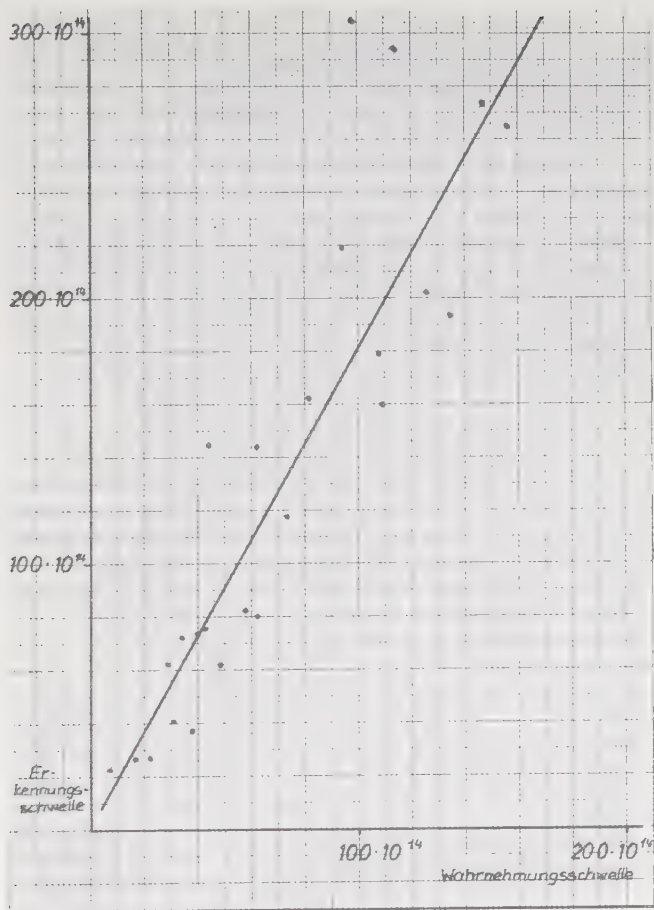
und für die Erkennungsschwelle von

$161,68 \cdot 10^{14}$ oder $1,61 \cdot 10^{16}$ Molekülen
Aceton / ml.

Im Durchschnitt liegen die Schwellen bei diesen pathologischen Fällen also rund 10mal höher als im Normalfall. Der niederste Wert für die Wahrnehmungsschwelle liegt bei $6,98 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml; der höchste Wert liegt bei $367 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml. Für die Erkennungsschwelle ergibt sich ein niederster Wert von $23,73 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml und ein höchster Wert von $557,5 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton / ml. Wiederum sind trotz der aufgefundenen Streuung der Werte die Mittelwerte von Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle signifikant verschieden. Der Wert für 3 $\bar{E}$ beträgt für die Wahrnehmungsschwelle 41,64 und für die Erkennungsschwelle 68,13. Die Differenz der beiden Mittelwerte beträgt 73,21, was die Signifikanz des Unterschiedes beweist, da die Werte der beiden 3 $\bar{E}$ jeweils kleiner sind.

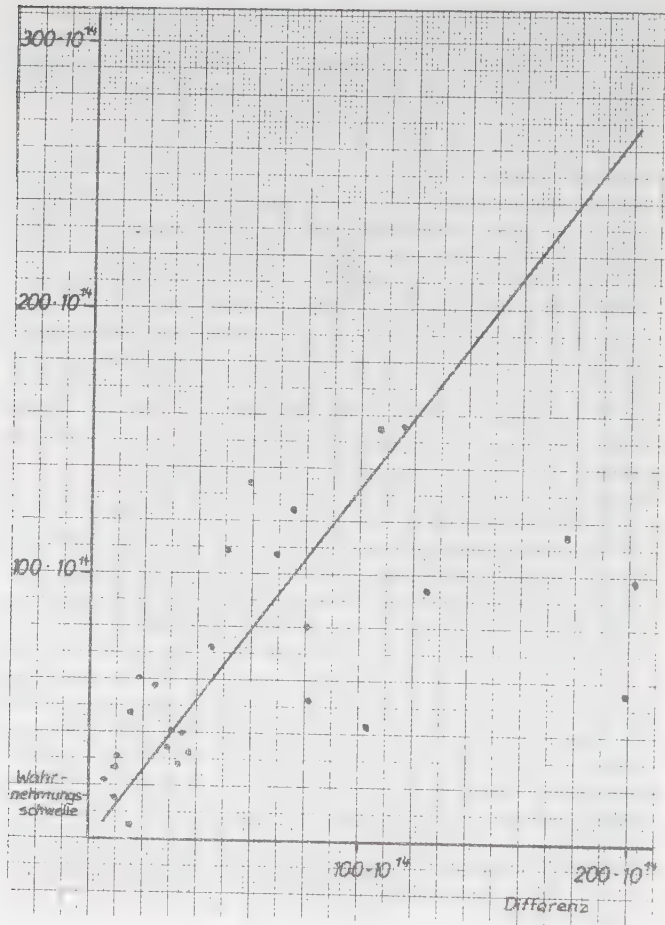
Wird wie bei den Normalfällen wiederum der Mittelwert der Erkennungsschwelle durch den Mittelwert der Wahrnehmungsschwelle dividiert, erhält man den Faktor 1,83, d. h. die Erkennungsschwelle liegt durchschnittlich 1,8 mal so hoch wie die Wahrnehmungsschwelle (Kurve 4). Der Faktor ist also geringfügig höher als im Normalfall, wo er 1,6 beträgt.

Das durchschnittliche Verhältnis Wahrnehmungsschwelle zur Differenz beider Schwellen beträgt:



Kurve 4

$2654,06 : 1991,51 = 1,33$ (Kurve 5).

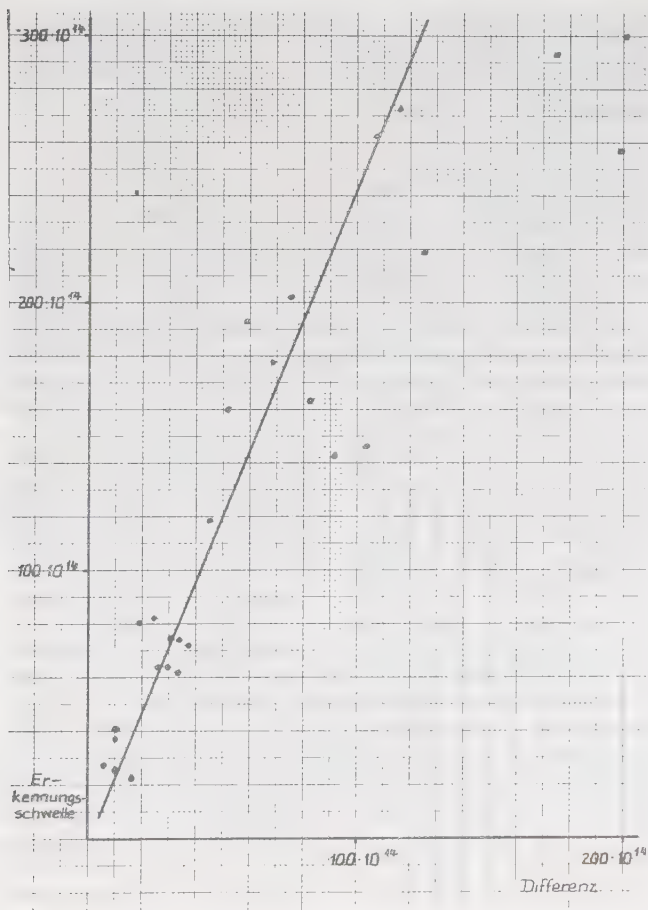


Kurve 5

Das durchschnittliche Verhältnis Erkennungsschwelle zur Differenz beider Schwellen beträgt:

$$4850,37 : 1991,51 = 2,45 \quad (\text{Kurve 6}) .$$

Wiederum wird deutlich, daß die eine Schwelle nicht um einen bestimmten Absolutbetrag über der anderen Schwelle liegt, sondern die Erkennungsschwelle um einen bestimmten Faktor über der Wahrnehmungsschwelle liegt.



Kurve 6

X. Diskussion

Mit Hilfe eines präzise arbeitenden Olfaktometers ließ sich das Vorhandensein einer Wahrnehmungsschwelle und einer Erkennungsschwelle des menschlichen Geruchssinnes exakt nachweisen. Es gelang, eine quantitative Untersuchung beider Schwellen durchzuführen und so schon frühere Beobachtungen von PASSY, von TOULOUSE und VASCHIDE, von NIQUE und RIVERS, von ZWAARDEMAKER, von VON KRIES, sowie von KRISTENSEN und ZILSTORFF - PEDERSEN zu bestätigen.

Der gefundene Faktor von 1,6 ist zwar absolut gesehen nicht sehr hoch, aber dennoch ist er mit Hilfe des verwendeten Olfaktometers schon genau bestimmbar. Im Bereich des "Normalriechens" besteht meist nur ein Unterschied von etwa $5 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton/ml zwischen den beiden Schwellen. Bei Störungen der Geruchsfunktion konnte aber auch ein Unterschied von $350 \cdot 10^{14}$ Molekülen Aceton/ml beobachtet werden. Die Trennung in Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle ermöglicht also auch Aussagen im Hinblick auf Störungen des Geruchssinnes. So wird oft von geruchsgestörten Personen angegeben, sie hätten noch eine Geruchsempfindung, doch sei es ihnen unmöglich, die Gerüche zu identifizieren. Hierbei liegt die Konzentration des Geruchsstoffes noch im Bereich einer durch pathologische Veränderungen angehobenen Wahrnehmungsschwelle. Eine Erkennungsschwellenkonzentration wird hingegen nicht mehr erreicht. Im Bereiche des "Normalriechens" sind die Unterschiede zwischen Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle so gering, daß der Unterschied zwischen beiden Schwellen fast nie bewußt

wird. Bei erhöhter Schwelle wird aber der Unterschied zwischen beiden Schwellen oft auffallend groß, zumal der Unterschied beider Schwellen nicht immer dem gleichen Absolutbetrag entspricht. Ist also der Wert für Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle bei pathologischen Fällen 100mal über den Werten der Norm, so ist der Unterschied beider Schwellen auch 100mal größer als im Normalfall. Dazu folgendes Beispiel:

Wahrnehmungsschwelle	(1): 10	$\cdot 10^{14}$ Moleküle Aceton/ml
Erkennungsschwelle	(1): 16	$\cdot 10^{14}$ Moleküle Aceton/ml
Wahrnehmungsschwelle	(2): 1000	$\cdot 10^{14}$ Moleküle Aceton/ml
Erkennungsschwelle	(2): 1600	$\cdot 10^{14}$ Moleküle Aceton/ml

Der Unterschied zwischen den beiden ersteren Schwellen beträgt $6 \cdot 10^{14}$ Moleküle Aceton/ml; der Unterschied zwischen beiden letzteren Schwellen aber $600 \cdot 10^{14}$ Moleküle Aceton/ml. So ist leicht ersichtlich, warum sich Patienten mit Geruchsstörungen oft so schwer tun, wenn es darum geht, Gerüche zu identifizieren. Es erfolgt nur noch eine Wahrnehmung, aber keine Erkennung mehr.

Nicht selten beobachtet man bei Störungen des Geruchssinnes auch das Phänomen einer Parosmie (des Fehlriechens) resp. Kakosmie (des Ubelriechens). Die Ursachen dieser für die Betroffenen äußerst unangenehmen Sensationen sind noch nicht völlig geklärt.

Aus dem Vorhandensein einer Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle läßt sich wenigstens teilweise eine Erklärung ableiten. In der Riechschleimhaut befinden sich Rezeptoren für eine gewisse Anzahl von Grundgerüchen. (9,13,16,36) Durch Vermischung dieser Grundgerüche ergibt sich eine breite Skala von Geruchsempfindungen. Werden nun die Rezeptoren für einen oder mehrere Grund-

gerüche selektiv durch ein ablaufendes Krankheitsgeschehen geschädigt, besteht also eine partielle Hyposmie oder Anosmie, kommt zu dieser an sich rein quantitativen Störung noch eine qualitative. Manche Teilgerüche, aus denen sich die Gesamtgeruchsempfindung zusammensetzt, werden noch wahrgenommen und erkannt; ein anderer Teilgeruch wird noch wahrgenommen, aber nicht mehr erkannt; wieder ein anderer wird nicht mehr wahrgenommen und nicht mehr erkannt. So erklären sich zwanglos Phänomene wie Parosmie und Kakosmie. Die Möglichkeit eines Geruchsrecruitments widerspricht dieser Erklärung keineswegs. HENNEBERT und SEMERIA (15,35) brachten hierüber Hypothesen, die gut in dieses Bild passen.

XI. Zusammenfassung

Spezielle Untersuchungen über die Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle des menschlichen Geruchsorgans wurden mit der olfaktometrischen Methode nach dem STUIVERschen Prinzip durchgeführt. An 100 "Normalpersonen" und 30 Personen mit Störungen des Geruchssinnes wurden die Schwellen bestimmt und einem statistischen Verfahren unterzogen.

Wir ermittelten folgende Resultate:

1. Es gibt signifikant unterscheidbar eine Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle des menschlichen Geruchsorgans.
2. Die Wahrnehmungsschwelle für Aceton liegt bei $7,77 \cdot 10^{14}$ Molekülen / ml.
Die Erkennungsschwelle für Aceton liegt bei $12,54 \cdot 10^{14}$ Molekülen / ml.

3. Die Erkennungsschwelle für Aceton liegt immer um den Faktor 1,6 über der Wahrnehmungsschwelle.
4. Bei Störungen der Geruchsfunktion ergab sich für die Wahrnehmungsschwelle ein mittlerer Wert von 88,47 .
 10^{14} Moleküle Aceton / ml, für die Erkennungsschwelle von 161,68 $\cdot 10^{14}$ Moleküle Aceton / ml.
5. Die Erkennungsschwelle lag hierbei um den Faktor 1,8 über der Wahrnehmungsschwelle.

Die Arbeit enthält weiterhin eine Literaturübersicht zur Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle.

XIII. Literaturverzeichnis

- (1) ADRIAN, E. D.: The sense of smell. *Advanc. of Sci.*
(1948), 287-292.
- (2) ADRIAN, E. D.: Electrical activity of the bulbus
olfactorius. *Electroenceph. clin.*
Neurophysiol. 2, (1950, 377.
- (3) AMOORE, J. E., J. W. JOHNSTON JR., M. RUBIN: Die
stereochemische Theorie des Geruchs.
F. Umsch. Wissenschaft u. Technik. 64,
(1964), 600.
- (4) BLOOM, G., H. ENGSTRÖM: Interciliar Structur.
Ann. Oto-laryng. Paris 62, (1953), 62.
- (5) v. BRUNN, A.: Über die Ausbreitung der menschlichen
Riechschleimhaut. *Naturw. Ges. zu*
Rostock, Sitzg. v. 26.6.1891.
- (6) CLARK, W. E., LE GROS.: The Hypothalamus. Oliver,
Edinburgh, 1938.
- (7) DISHOECK, H. A. E. VAN: Outline of practical
olfactometrie. *Internat. Rhinol. Vol. III,*
No. 1, (Jan. 1965), 111-116.
- (8) ELSBERG, Ch., BREWER, E. D., LEVY, J.: The sense
of smell. *Bull. Neurol. Inst. New York,*
4, 1-34, (1935).
- (9) ELSBERG, Ch., and STEWARD, J.: Quantitative olfactory
tests. *Arch. Neurol. Psychiat., Chicago,*
40, 479-481, (1938).
- (10) ENDRESS, H. G., Über den Geruchssinn des Menschen und
seine Leistungen. *Inaugural Dissertation*
Erlangen, 1965.
- (11) PICK, A.: Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der
Sinnesorgane, Lehr 1864.
- (12) FORTUNATO, V., P. NICCOLINI: L'olfatto. Edit. Istituto
Farmaco terapeutico Italiano, Rom 1958,
(Collana scientifica IFI Nr. 4).

- (13) GESTELAND, R. C.: zit. nach AMOORE, J. E. u. Mitarb. Umschau Wissenschaft u. Technik. 64 (1964) 600.
- (14) GÜTTICH, M.: Über die klinische Bedeutung der Riechprüfung. Mschr. für Oto- und Laryngologie-Rhinologie. 98 Jhg. Feb. 1964, Heft. 2.
- (15) HENNEBERT, P. E.: L'olfaction. Acta oto - rhino - laryng. belg. 7 (1953), Fasc. II. Rapp. LIV Congr. Soc. Belg. Oto-Rhino-Laryng. 1953.
- (16) HENNING, H.: Der Geruch. Joh. Ambr. Barth, Leipzig. (1924).
- (17) HESSE, W.: Bestimmung von Geruchsschwellen in absoluten Werten. Z. Hals-, Nas.- und Ohrenheilkunde, 16 (1926) 359-373.
- (18) KINDLER, W.: Geruchsstörungen nach Schädelverletzungen in medizinischer und sozialer Bedeutung. Med. Welt 5 (1936), 150.
- (19) KITTEL, G.: Die moderne Olfaktometrie und Odorimetrie, Z. Laryng. Rhinol. Stuttgart, 48, (1968), 12, 893-903.
- (20) KÖSTER, E. P.: Olfactory sensitivity and the menstrual cycle. Internat. Rhinol. Vol. III, No.1, (Jan. 1965), 57-64.
- (21) KRIES, J. VON: Allgemeine Sinnesphysiologie. Vogel, Leipzig 1923.
- (22) KRISTENSEN, H. K., K. ZILSTORFF-PEDERSEN: QUANTitative studies on the function of smell. Acta oto-laryng. Stockholm 43, 537-544, (1953).
- (23) LENARD, L.: Olfaktometrie und zerebrale Herdlokalisation. Psychiat. Neurol. Basel 146, 210-224, (1963).

- (24) DE LORENZO, A. J.: Electron microscopic observations on the olfactory mucosa and olf. nerve. J. biophys. biochem. cytol. 3 (1957), 839.
- (25) MARI, H.: Die Nasenheilkunde, Fischer, Jena 1949.
- (26) MULLINS, L. J.: Olfaction. Ann. New York Acad. Sci. 62 (1956), 249-276.
- (27) NIQUE, F.: Contribution à l'étude des anosmies. Thèse. Lyon 1897.
- (28) PASSY, L.: Revue générale sur les sensations olfactives. Année psychol. 2 (1896), 363-410.
- (29) PFANDER, F.: Anosmie durch einmaliges Einatmen von Schwefeldioxyd. HNO (Berl.), 8, (1959), 2, 59-60.
- (30) RAUH, Ch.: Geruchsstörungen nach Schädeltraumen. HNO (Berl.), 9, 271-273.
- (31) RENNINGHOFF, F.: Geruchsstörungen durch Metallstaub. HNO (Berl.), 13, 99-100, (1965).
- (32) RIVERS, W. H. R.: Observations on the sense of the Todas. Brit. J. of Psychol. 1, 4, 321-397, (1905).
- (33) ROSSBERG, G.: Geruchs- und Geschmacksstörungen als Folge von Erkrankungen des Ohres, der Nasennebenhöhlen und der Mundhöhle. Laryng. Rhinol., Stuttgart, 44, (1965), 10, 663-684.
- (34) ROSSBERG, G., H. SCHAUPP, W. SCHMIDT: Geruchs- und Geschmacksvermögen bei Arbeitern der chemischen und metallverarbeitenden Industrie. Z. Laryng. Rhinol. Stuttgart, 45, (1966), 9, 571-590.
- (35) SEMERIA, C.: Introduzione allo studio del recruitment olfattivo. Clin. oto-rino-laring. 16, 436-442, (1964).

- (36) SCHNEIDER, M.: Einführung in die Physiologie des Menschen. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1964.
- (37) STUIVER, M.: Biophysics of the sense of smell. Inaug. Diss., Groningen 1958.
- (38) STUIVER, M.: An olfactometer with a wide range of possibilities. Acta oto-laryng. Stockholm 51, 135-142, (1960).
- (39) TOULOUSE, E., VASCHIDE, M.: L'asymétrie sensorielle olfactive. Rev. phil. 49, 176-186, (1900).
- (40) WAGEMANN, W.: Anatomie, Physiologie und Untersuchung der Nase und der Nasennebenhöhlen. In Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde v. J. BERENDES, R. LINK, F. ZÖLLNER, Thieme, Stuttgart, (1964), Band I, 1-68.
- (41) WENZEL, B. M.: Olfactometric method utilizing natural breathing in an "odor-free" environment. Science 102, (1955), 802-803.
- (42) WILDHAGEN: Zur Differentialdiagnose zentraler Geruchsstörungen. HNO (Berl.), 9, 125-127, (1961).
- (43) WUSTROW, F.: Die Funktionsentwicklung der menschlichen Nasenschleimhaut. Z. Laryng. Rhinol., Stuttgart, 38, (1959), 10, 689-710.
- (44) ZILSDORFF-PEDERSEN, K.: Die quantitative und qualitative Olfactometrie. HNO (Berl.), 10, 97-102, (1962).
- (45) ZWAARDEMAKER, H.: Die Physiologie des Geruchs. Engelmann, Leipzig 1895.
- (46) ZWAARDEMAKER, H.: Prüfung des Geruchssinnes und der Gerüche. In Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, hrsg. v. E. ABDERHALDEN, Abt. 5, Teil 7, 455, Urban u. Schwarzenberg, Berlin/Wien 1923.

- (47) ZWAARDEMAKER, H.: Physiologie der Nase und ihrer Nebenhöhlen. Handbuch der HNO-Heilkunde, hrg. von DENKER und KAHLER. Bd. 1, 439-484. Springer, Berlin 1925.

L e b e n s l a u f

Am 15. Januar 1943 wurde ich, Peter Wendelstein, in Küstrin, Kreis Königsberg, als der erste von zwei Söhnen des Oberstabsarztes a. D., des Facharztes für Hals-Nasen-Ohrenkrankheiten Dr. med., Dr. med. dent. Helmut Wendelstein und dessen Ehefrau Ursula Wendelstein, geb. Kunkel, geboren.

1949 - 1953 besuchte ich die Volksschule in Ansbach und trat dann 1953 in das Humanistische Gymnasium in Ansbach ein. 1957 wechselte ich in das Deutsche Gymnasium in Schwabach über, wo ich im Juni 1963 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1963/64 begann ich dann das Studium der Medizin in Erlangen, wo ich im November 1964 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im April 1966 die ärztliche Vorprüfung bestand. Im Wintersemester 1966/67 wechselte ich an die Universität Innsbruck, kehrte aber im Sommersemester 1967 wieder an die Universität Erlangen zurück. Hier absolvierte ich im Sommer 1969 das medizinische Staatsexamen.

